

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-345360

(43)Date of publication of application : 14.12.2001

(51)Int.Cl.

H01L 21/66  
B23K 15/00  
G01N 1/28  
G01N 1/32  
G01N 1/34  
H01J 37/20  
H01J 37/30  
// B23K101:40

(21)Application number : 2000-169049

(71)Applicant : HITACHI LTD

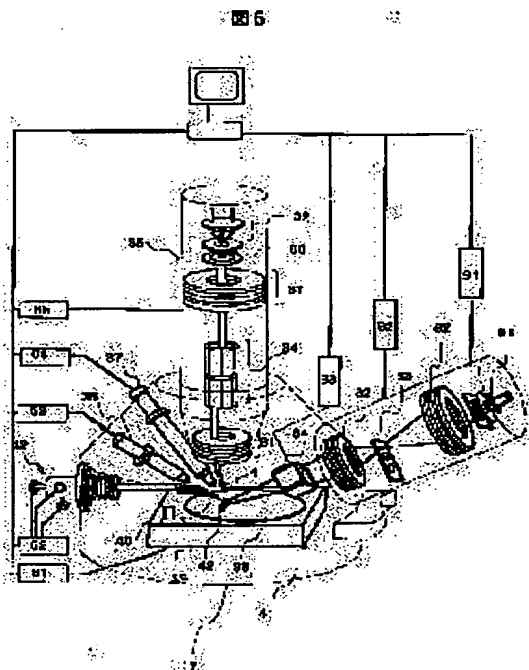
(22)Date of filing : 01.06.2000

(72)Inventor : SHICHI HIROYASU  
TOMIMATSU SATOSHI  
FUKUDA MUNEYUKI

**(54) INSPECTING AND ANALYZING METHOD AND SAMPLE MANUFACTURING APPARATUS****(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a new inspecting and analyzing method and an electronic component manufacturing apparatus for not bringing about a fault, even when a wafer taken out from a sample for an inspection is returned to a process for the inspection without wastefully discarding a substrate for its evaluation.

**SOLUTION:** The inspecting and analyzing method comprises the steps of emitting a second ion beam to an area including at least a region radiated by a first ion beam on the substrate, and removing at least a part of a surface of the sample containing a first ion beam element seed. Thus, in order to improve the yield of a semiconductor device or the like, the inspection on the way can be executed without dividing the wafer. Even in this case, reduction in contamination including the element seed for constituting the beam or a contamination including the element seed for constituting a deposit film can be realized.



(43)公開日 平成13年12月14日(2001.12.14)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	ページ* (参考)
H 0 1 L 21/66		H 0 1 L 21/66	N 4 E 0 6 6
B 2 3 K 15/00	5 0 8	B 2 3 K 15/00	5 0 8 4 M 1 0 6
G 0 1 N 1/28		G 0 1 N 1/32	B 5 C 0 0 1
1/32		1/34	5 C 0 3 4
1/34		H 0 1 J 37/20	Z
審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 11 頁) 最終頁に続く			

(21)出願番号 特願2000-169049(P2000-169049)

(22)出願日 平成12年6月1日(2000.6.1)

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 志知 広康

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 富松 聡

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

**最終頁に続く**

(54) 【発明の名称】 検査・解析方法および試料作製装置

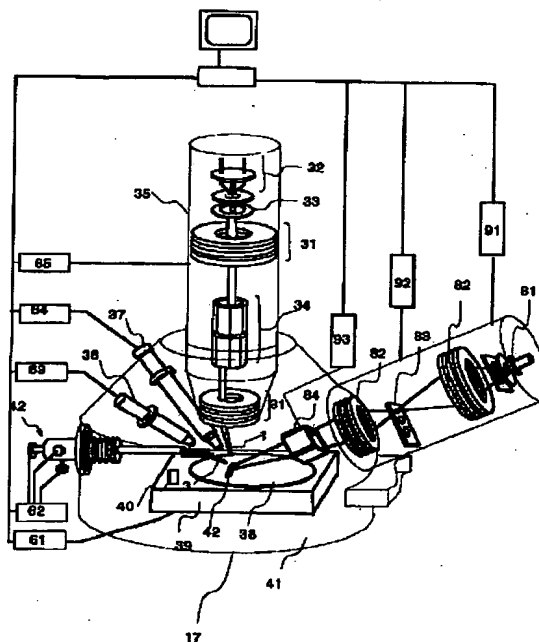
(57) 【要約】

【課題】本願の第1の目的は、基板を評価のために無駄に廃棄せず、かつ検査のための試料を取り出したウェーハをプロセスに戻しても不良を発生させない新たな検査・解析方法や電子部品製造方法を提供することにある。

【解決手段】本発明は、基板上で第一のイオンビームが照射された領域を少なくとも含んだ領域に第二のイオンビームを照射し、第一のイオンビーム元素種が含まれた試料表面の少なくとも一部を除去することを特徴とする基板の検査・解析方法とする。

【効果】本願によると、半導体デバイス等の歩留向上のために、途中の検査がウェーハを割断することなく実施でき、かつ、その際にも、イオンビームを構成していた元素種を含む汚染や、デガ膜を構成する元素種を含む汚染を少なくすることが実現できる。

**5**



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】基板上で複数の元素を含む第一のイオンビームで第1の領域を照射し、前記第一のイオンビームで照射後前記第1の領域を含む第2の領域を前記第一イオンビームの複数元素とは異なる元素から成る第二のイオンビームを照射し、第一のイオンビーム元素種が含まれた試料表面の少なくとも一部を除去することを特徴とする基板の検査・解析方法。

【請求項2】基板上に回路パターンを製造するプロセスの任意の加工工程後に、前記基板に第一のイオンビームを照射して、基板表面を加工し、加工部を検査あるいは解析する工程、もしくは前記加工工程の後に、少なくとも第一のイオンビーム照射を用いて前記基板の一部を分離する工程を有し、その後、基板上で第一のイオンビームが照射された領域を少なくとも含んだ領域に第二のイオンビームを照射し、第一のイオンビーム元素種が含まれた試料表面の少なくとも一部を除去する工程を経た後、回路パターンを製造する前記プロセスに前記基板を戻して第二の加工をすることを特徴とする電子部品製造方法。

【請求項3】基板上でイオンビームが照射された領域を少なくとも含んだ領域にレーザビーム照射し、イオンビーム元素種が含まれた試料表面の少なくとも一部を除去することを特徴とする基板の検査・解析方法。

【請求項4】基板を保持して移動できる試料ステージと、基板の所望の場所に、ガリウムを含むイオンビームを照射することを少なくとも用いる加工方法により基板の一部を分離して、マイクロサンプルを作製する試料作製装置において、イオンビームを照射した箇所にレーザビームを照射して、イオンビーム元素種が含まれた試料表面の少なくとも一部を除去することが可能なレーザビーム装置を備えたことを特徴とする試料作製装置。

【請求項5】基板を保持して移動できる試料ステージと、基板の所望の場所に、ガリウムを含む第一のイオンビームを照射することを少なくとも用いる加工方法により基板の一部を分離して、マイクロサンプルを作製する試料作製装置において、ガリウムイオンビームを照射した領域と照射条件を記録するイオンビーム制御装置を備え、該記録に基づきイオンビーム制御装置はガリウムイオンビームを照射した領域にアルゴン、窒素、酸素のいずれかを少なくとも含む第二のイオンビームを照射して、ガリウムが含まれた試料表面を除去するように制御するイオンビーム制御装置であることを特徴とする試料作製装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体デバイスなどの電子部品の検査・解析方法、電子部品製造方法及び本検査・解析方法を実現するための試料作製装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】ダイナミックランダムアクセスメモリに代表される半導体メモリやマイクロプロセッサ、半導体レーザなど半導体デバイス、および磁気ヘッドなど電子部品の製造においては、高歩留まり製造が求められる。すなわち不良発生による製品歩留りの低下は、採算の悪化を招く。このため、不良の原因となる欠陥や異物、加工不良の早期発見および早期対策が大きな課題となる。例えば、半導体デバイスの製造現場では、入念な検査による不良発見、およびその発生原因の解析に注力されている。ウェーハを用いた実際の電子部品製造工程では、完成後のウェーハを検査して、回路パターンの欠陥や異物など異常箇所の原因を追及して対策方法が検討される。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】上述のような電子部品の製造に関して不良品を出さないように効率よく管理するには、以下のような解決すべき課題が残されていた。

【0004】通常、試料の微細構造観察には高分解能の走査型電子顕微鏡（以下、SEMと略記）が用いるが、半導体の高集積化に伴い、対象物がSEMの分解能では観察できなくなっており、SEMに代って観察分解能が高い透過型電子顕微鏡（以下、TEMと略記）が用いられる。

【0005】従来のTEM試料作製には劈開や切断などで試料を小片にする作業が伴い、試料がウェーハの場合は、ほとんどの場合にはウェーハを切断せざるを得なかった。

【0006】最近では、イオンビームを試料に照射し、スパッタ作用によって試料を構成する粒子が、試料から放出される作用を応用した加工方法、すなわち集束イオンビーム（以下、FIBと略す）加工を利用する例がある。これは、まずダイシング装置等を用いてウェーハ等の試料から観察すべき領域を含むサブミリメートルの短冊状ペレットを切り出す。次に、この短冊状ペレットの一部を薄壁状にFIB加工してTEM試料とする。ここでFIB加工されたTEM観察用の試料の特徴は、試験片の一部がTEM観察用に、厚さが約100nmの薄膜に加工してあることにある。この方法によって、所望の観察部をマイクロメートルレベルの精度で位置出しして観察することが可能になったが、やはりウェーハを切断しなければならぬ。

【0007】このように、半導体デバイス等の製造途中で、ある工程の結果を監視することは、歩留まり管理上、その利点は大きい。既に述べたような試料作製ではウェーハは切断され、ウェーハの破片は次のプロセスに進むことなく廃棄される。特に近年ではウェーハは、半導体デバイスの製造単価を下げるため大口径化が進んでいる。すなわち、1枚のウェーハで製造できる半導体デバイスの個数を増やして、単価を低減する。しかし逆にウェーハは高価となり、さらにウェーハの破棄によつ

て失われる半導体デバイスの個数も増大する。したがって、従来のウェーハの分断を含むような検査方法は非常に不経済であった。

【0008】これに対して、ウェーハを分断することなく試料作製できる方法がある。この方法は、特開平05-52721号公報に『試料の分離方法及びこの分離方法で得た分離試料の分析方法』が開示されている。この方法は図2に示すように、まず、試料2の表面に対しFIB1が直角に照射するように試料2の姿勢を保ち、試料上でFIB1を矩形に走査させ、試料表面に所要の深さの角穴101を形成する(図3(a))。次に、試料2を傾斜させ、底穴102を形成する。試料2の傾斜角の変更は、試料ステージ(図示せず)によって行われる(図3(b))。試料2の姿勢を変更し、試料2の表面がFIB1に対して再び垂直になるように試料2を設置し、切り欠き溝103を形成する(図2(c))。マニピュレータ(図示せず)を駆動し、マニピュレータ先端のプロープ3の先端を、試料2を分離する部分に接触させる(図3(d))。ガスノズル104から堆積性ガス5を供給し、FIB1をプロープ3の先端部を含む領域に局所的に照射し、イオンビームアシストデポジション膜(以下、デポ膜4と略す)を形成する。接触状態にある試料2の分離部分とプロープ3の先端はデポ膜4で接続される(図3(e))。FIB1で残りの部分を切り欠き加工し(図3(f))、試料2から分離試料であるマイクロサンプル6を切り出す。切り出された分離試料6は、接続されたプロープ3で支持された状態になる(図3(g))。このマイクロサンプル6を、FIB1で加工し、観察しようとする領域をウォール加工するとTEM試料(図示せず)となる。ウェーハなど試料から所望の解析領域を含む微小試料片を、FIB加工と微小試料の搬送手段を駆使して分離する方法である。この方法で分離した微小試料を各種解析装置に導入することで解析することができる。この手法を用いれば、ウェーハを分断することなく、試料から検査用の微小試料を取り出し、ウェーハは次のプロセスに戻すことも可能となる。したがって従来のようにウェーハの分断によって失われる半導体デバイスはなくなり、トータルの半導体デバイスの製造コストを低減することができる。

【0009】しかし、本手法では、微小試料を分離するときなどに、FIBを用いているために、FIBを構成していた元素種が、微小試料を取り出した加工領域に残る。また、FIB照射によるスパッタ作用によりFIB加工領域以外にも、FIBを構成していた元素種や試料の一部の破片が飛散する。また、デポ膜を用いる場合には、堆積ガスを構成する元素種が加工領域やその周辺に残る。これら元素種の存在は、半導体デバイス製造にとっては不良発生原因となる可能性が高い。すなわち、これらの汚染をそのままにして、ウェーハを次のプロセスに戻すと、これらの元素種が拡散し、正常に製造プロセスを経ている半

導体素子に侵入し、電気的特性不良やコンタクト不良を発生させるといった問題があった。この対策として、化学薬液を使った洗浄を、微小試料を取り出したウェーハに施したりすることが考えられる。しかし、工程数が多くなり、製造コストが高くなるという問題があった、さらにFIBは、例えば30kV加速で照射した場合、試料表面から深さ10nm程度は内部に入射しており、表面だけの洗浄では、試料中に埋めこまれたイオンビーム元素種を含む汚染を完全には除去不能という深刻な問題もあった。

【0010】このようなことから、半導体デバイス等の歩留向上のために、途中の検査がウェーハを割断することなく実施でき、かつ、その際にも、イオンビームを構成していた元素種を含む汚染や、デポ膜を構成する元素種を含む汚染を、コストが安く簡便に取り除く手法、またFIBが埋めこまれた領域も簡便に取り除くことが可能な手法の確立や、それを、実現できる装置の開発が望まれていた。

【0011】上述の問題点に鑑み、本願の第1の目的は、基板を評価のために無駄に廃棄せず、かつ検査のための試料を取り出したウェーハをプロセスに戻しても不良を発生させない新たな検査・解析方法や電子部品製造方法を提供することであり、また、第二の目的は上記第1の目的を達成するための試料作製装置を提供することにある。

#### 【0012】

【課題を解決するための手段】以上に述べたような第一の目的は、以下のようにすることによって達成される。

【0013】(1) 基板に、第一のイオンビームを照射して、基板表面を加工し、加工部を検査あるいは解析する、もしくは少なくとも第一のイオンビーム照射を用いる加工方法により基板の一部を分離して、分離したマイクロサンプルを検査・解析する基板の検査・解析方法において、基板上で第一のイオンビームが照射された領域を少なくとも含んだ領域に第二のイオンビームを照射し、第一のイオンビーム元素種が含まれた試料表面の少なくとも一部を除去することを特徴とする基板の検査・解析方法とする。

【0014】本手段の検査・解析方法によると、基板を評価のために無駄に廃棄せず、かつ検査のための試料を取り出した基板をプロセスに戻しても新たな不良を発生させない。

【0015】(2) 基板に回路パターンを製造するプロセスの任意の加工工程後に、第一のイオンビームを照射して、基板表面を加工し、加工部を検査あるいは解析する工程、もしくは前記加工工程の後に、少なくとも第一のイオンビーム照射を用いて基板の一部を分離する工程を有し、その後、基板上で第一のイオンビームが照射された領域を少なくとも含んだ領域に第二のイオンビームを照射し、第一のイオンビーム元素種が含まれた試料表

面の少なくとも一部を除去する工程を経た後、回路パターンを製造する前記プロセスに前記基板を戻して第二の加工をすることを特徴とする電子部品製造方法とする。

【0016】本手段の電子部品製造方法によると、基板を評価のために無駄に廃棄せず、かつ検査のための試料を切り出した基板をプロセスに戻しても新たな不良を発生させない。ひいては、電子部品の製造歩留りが向上する。

【0017】(3) 基板に、イオンビームを照射して、基板表面を加工し、加工部を検査あるいは解析する、もしくは少なくともイオンビーム照射を用いる加工方法により基板の一部を分離して、分離したマイクロサンプルを検査・解析する基板の検査・解析方法において、基板上でイオンビームが照射された領域を少なくとも含んだ領域にレーザビーム照射し、イオンビーム元素種が含まれた試料表面の少なくとも一部を除去することを特徴とする基板の検査・解析方法とする。

【0018】本手段の検査・解析方法によると、基板を評価のために無駄に廃棄せず、かつ検査のための試料を切り出した基板をプロセスに戻しても新たな不良を発生させない。

【0019】(4) 基板に回路パターンを製造するプロセスの任意の加工工程後に、イオンビームを照射して、基板表面を加工し、加工部を検査あるいは解析する工程、もしくは前記加工工程の後に、少なくともイオンビーム照射を用いて基板の一部を分離する工程を有し、その後、基板上でイオンビームが照射された領域を少なくとも含んだ領域にレーザビーム照射し、イオンビーム元素種が含まれた試料表面の少なくとも一部を除去する工程を経た後、回路パターンを製造する前記プロセスに前記基板を戻して第二の加工をすることを特徴とする電子部品製造方法とする。

【0020】本手段の検査・解析方法によると、基板を評価のために無駄に廃棄せず、かつ検査のための試料を切り出した基板をプロセスに戻しても新たな不良を発生することがない。ひいては、電子部品の製造歩留りが向上する。

【0021】(5) 基板に、イオンビームを照射して、基板表面を加工し、加工部を検査あるいは解析する、もしくは、少なくともイオンビーム照射を用いる加工方法により基板の一部を分離して、分離したマイクロサンプルを検査・解析する基板の検査・解析方法において、基板にイオンビームを照射する前に基板の少なくとも一部を薄膜で被い、次に薄膜上からイオンビームを照射することを含む加工方法により基板表面を加工し、加工後に前記薄膜を除去することを特徴とする基板の検査・解析方法とする。

【0022】本手段の電子部品製造方法によると、基板を評価のために無駄に廃棄しなくてすむ。かつ検査のための試料を切り出した基板をプロセスに戻しても新たな

不良を発生させない。

【0023】(6) 基板に回路パターンを製造するプロセスの任意の加工工程後に、基板の少なくとも一部を薄膜で被い、次に薄膜上からイオンビームを照射して、基板表面を加工し、加工部を検査あるいは解析する工程、もしくは前記加工工程の後に、基板の少なくとも一部を薄膜で被い、次に薄膜上からイオンビームを照射することを含む加工方法により基板の一部を分離する工程を有し、その後、前記薄膜を除去する工程を経た後に、回路パターンを製造する前記プロセスに前記基板を戻して第二の加工をすることを特徴とする電子部品製造方法とする。

【0024】本手段の電子部品製造方法によると、基板を評価のために無駄に廃棄しなくてすむ。かつ検査のための試料を切り出した基板をプロセスに戻しても新たな不良を発生させない。ひいては、電子部品の製造歩留りが向上する。

【0025】第二の目的を達成するために

(7) 基板を保持して移動できる試料ステージと、基板の所望の場所に、ガリウムを含むイオンビームを照射することを少なくとも用いる加工方法により基板の一部を分離して、マイクロサンプルを作製する試料作製装置において、イオンビームを照射した箇所にレーザビームを照射して、イオンビーム元素種が含まれた試料表面の少なくとも一部を除去することが可能なレーザビーム装置を備えたことを特徴とする試料作製装置とする。

【0026】本手段の試料作製装置によると、基板を評価のために無駄に廃棄せず、かつ検査のための試料を切り出した基板をプロセスに戻しても新たな不良を発生させない検査・解析方法や電子部品製造方法を実現できる。

【0027】(8) 基板を保持して移動できる試料ステージと、基板の所望の場所に、ガリウムを含む第一のイオンビームを照射することを少なくとも用いる加工方法により基板の一部を分離して、マイクロサンプルを作製する試料作製装置において、ガリウムイオンビームを照射した領域と照射条件を記録するイオンビーム制御装置を備え、該記録に基づきイオンビーム制御装置は、ガリウムイオンビームを照射した領域にアルゴン、窒素、酸素のいずれかを少なくとも含む第二のイオンビームを照射して、ガリウムが含まれた試料表面を除去するように制御するイオンビーム制御装置であることを特徴とする試料作製装置とする。

【0028】本手段の試料作製装置によると、基板を評価のために無駄に廃棄せず、かつ検査のための試料を切り出した基板をプロセスに戻しても新たな不良を発生させない検査・解析方法や電子部品製造方法を実現できる。

【0029】また、上記(1)から(8)のいずれかにおいて、(9) 上記試料はシリコン半導体ウェーハ、エ

ピタキシャル成長シリコンウェーハ、基板に形成されたシリン薄膜を有するウェーハ、化合物半導体ウェーハ、磁気ヘッド集積ウェーハのうちのいずれかであるか、または、(10)上記電子部品は、シリコン半導体デバイス、化合物半導体デバイス、磁気記録再生用ヘッド、光磁気記録再生用ヘッドのうちのいずれかであるか、(11)上記検査は透過型電子顕微鏡、走査型透過電子顕微鏡、走査型電子顕微鏡もしくは走査型プローブ顕微鏡のうちの少なくともいずれかを用いるか、(12)上記解析は、電子ビーム、イオンビーム、X線の少なくともいずれかを用いて元素分析し、予め定めた基準の元素分布または元素濃度、不純物分布、不純物濃度のうち少なくともいずれと比較して良不良を判断するか、または、(13)上記解析は、予め定めた箇所について予め定めた基準の形状、寸法、元素分布、元素濃度、不純物分布、不純物濃度のうち少なくともいずれかを外れた原因を解明するか、または、(14)上記モニタまたは検査または解析のうちの少なくともいずれかを行なう工程において得たデータは、少なくとも計算処理機に保存する。

#### 【0030】

【発明の実施の形態】本願による電子部品製造方法の実施の形態例は、試料に複数の加工プロセスを施して電子部品を形成する電子部品製造方法において、加工プロセスにおいて上記試料の基板表面を含む一部を摘出し、上記基板表面を含む一部に対して上記加工プロセスでの加工の進捗をモニタまたは検査または解析のうちの少なくともいずれかを行なう工程と、基板表面を含む一部を除去した後、基板を更に加工プロセスへ戻し回路パターンを製造する方法にある。

【0031】<実施形態例1>本願による電子部品製造方法の基本的な流れをウェーハの流れを図1を用いて説明する。

【0032】まず複数のウェーハからなるロット13が任意のN番目のプロセス11に投入される。次に複数のウェーハのうち検査用ウェーハ14を選別し、残されたウェーハは待機する。選別した検査用ウェーハ14は、まず検査電子顕微鏡15に導入される。ここで異常が発見された場合には、その位置が記録され、その情報が試料作製装置17に送られる。この試料作製装置17で検査用ウェーハ14から検査すべき箇所を含むマイクロサンプル6を、ガリウムFIB1とマニピュレータ先端に取り付けたプローブ3、およびデポガスW(CO)6によって作製したデポ膜等を用いて摘出する。マイクロサンプル6を摘出された検査用ウェーハ14は、再び上記残されたロット13に組み込まれ、次のN+1番目のプロセス12に投入される。ここで、マイクロサンプル6は解析装置18に送り、予め定められた検査項目について解析する。このように、N番目のプロセスからN+1番目プロセスに至る間に、解析用のマイクロサンプル6

が摘出されることが大きな特徴である。また、検査によってマイクロサンプル6を摘出した加工領域を含む半導体デバイスはN+1番目以降のプロセスは無効となり製品となることはないが、ウェーハ枚数は減少することはない。すなわち、N番目のプロセスに投入するウェーハとN+1番目のプロセスに投入するウェーハ数は同じであり、マイクロサンプル6が取り出された領域以外で製造された半導体デバイスは良品であれば製品として製造数に貢献する。

【0033】しかし、本手法では、微小試料を分離するときなどに、ガリウムFIBを用いているためにガリウムを含む汚染が、微小試料を取り出した加工領域やその周辺に発生する。また、デポ膜を利用するため、タングステン、炭素等を含む汚染が発生する。

【0034】そこで、レーザビーム照射装置を備えた試料作製装置内で、ガリウムがウェーハに照射された領域にレーザビーム照射し、ガリウムを含む試料部分を除去する。なおレーザビーム照射装置を備えた試料作製装置17の詳細については後で詳しく述べる。

【0035】ここで用いるレーザは試料を短時間で溶融し蒸発させるのに十分な出力を持てば良い。例えば、エキシマレーザ、YAGレーザ、炭酸ガスレーザおよび色素レーザなどが使用可能である。本実施例ではYAGレーザを用いた。このレーザ光は非常に強度高く、試料表面を蒸発させることができる。例えば、シリコンウェーハに製造している微細半導体デバイスに対し、マイクロサンプル作製条件を入力したレーザビーム制御装置によって、自動的に狙いレーザ光を照射する。その結果、ガリウムを含むような領域はウェーハ表面から取り除かれる。なおレーザビーム照射する試料表面の材質によってレーザの波長、エネルギーは調整すれば良い。

【0036】なお、従来、試料を観察する場合に、レーザビームを試料に照射し、試料から反射される光を検出して試料を観察するレーザ顕微鏡がイオンビーム装置に装着されたが、エネルギーが低く、試料表面を取り除くことはほとんどできず、本発明の目的は達成できなかった。

【0037】本実施の形態の電子部品製造方法によると、基板を評価のために無駄に廃棄しなくてすむ。かつ検査のための試料を切り出した基板をプロセスに戻しても新たな不良を発生させない。ひいては、電子部品の製造歩留りが向上する。

【0038】本実施例では、レーザ装置を組み込んだ試料作製装置で行っているが、試料作製の後に、ウェーハを上記レーザ装置と同等の性能を持つレーザ加工装置に導入し、同様な除去作業を行ってもよい。この場合には、加工位置情報を、試料作製装置17からレーザ加工装置19に転送し、加工位置に自動レーザ照射できるようにする。ただしこの場合には2台の装置のコストが必要であり、作業時間も長くなり、結果的にはデバイス製

造にかかる経済的なコストが高くなる。

【0039】<実施形態例2>本願による一実施例であるレーザビーム照射装置を備えた試料作製装置の概略構成図を図3に示す。

【0040】試料作製装置17は、真空容器41を有しており、真空容器内には、ガリウムを放出する液体金属イオン源32、ビーム制限アパチャ33、イオンビーム走査電極34、およびイオンビームレンズ31などから構成されるFIB照射光学系35、FIB照射によって試料から放出する二次電子や二次イオンを検出する二次粒子検出器36、イオンビーム照射領域にデポ膜を形成するための元材料ガスを供給するデポガス源37、マニピュレータ42先端に取り付けたプローブ3、半導体ウェーハや半導体チップなどの試料基板38を載置する試料ステージ39、試料基板の一部を摘出した微小な摘出試料を固定する試料ホルダ40などが配置されている。また、レーザ発生オシレータ51、レーザアンプ52および第2高調波発生器53、等から構成されるレーザ装置56、またレーザ光を試料加工位置に導くレーザ反射鏡54、レーザ用光学レンズ55等が装着されている。これらのレーザ装置56、レーザ反射鏡54、レーザ用光学レンズ55等は一つのコンポーネントとしてまとめられ真空容器に固定されている。その他に本装置を制御する装置として、主に電気回路や演算装置からなるステージ制御装置61、マニピュレータ制御装置62、二次電子検出器の増幅器63、デポガス源制御装置64、FIB制御装置65、レーザ反射鏡位置制御装置71、レーザ用光学レンズ制御装置72、レーザ制御装置73、および計算処理装置74、などが配置される。

【0041】次に、本試料作製装置の動作について説明する。まず、液体金属イオン源32から放出したイオンをビーム制限アパチャ33、イオンビームレンズ31を通して試料基板38に照射する。FIB1は試料上で直径数ナノメートルから1マイクロメートル程度に細束化される。FIB1を試料基板38に照射するとスパッタリング現象により試料表面の構成原子が真空中に放出される。したがってイオンビーム走査電極34を用いてFIB1を走査させることで、マイクロメートルからサブマイクロメートルレベルの加工ができることになる。また、デポジションガスを試料室中に導入しながらFIB1を試料基板38に照射することによって、デポ膜を形成することができる。このように、FIB1によるスパッタリングあるいはデポジションを巧みにつかって試料基板38を加工することができる。FIB1照射によって形成するデポ膜は、プローブ3の先端にある接触部と試料を接続したり、摘出試料を試料ホルダ40に固定するために使用する。また、FIB1を走査して、試料から放出される二次電子や二次イオンを二次粒子検出器36で検出して、その強度を画像の輝度に変換することによって試料基板38やプローブ3などを観察することができる。

【0042】ガリウムFIB1を用いたマイクロサンプル作製のための加工動作については従来の方と同じである。そして、マイクロサンプル6は透過電子顕微鏡に送り、断面微細構造を解析する。マイクロサンプル作製後のレーザビーム照射動作を次に説明する。ここではレーザ発生装置としてYAGレーザを用いる。まず、レーザ発生装置56から放出されたレーザ光57は、レーザ反射鏡53によってその方向を変えられレーザ用光学レンズ54を通して加工領域にむけて、真空容器内に導かれる。ここで用いるレーザは試料を短時間で熔融し蒸発させるのに十分な出力を持つ。本レーザはパルス発振レーザで、パルス幅約6nsec、波長532nm、パルスエネルギー約5mJに設定した。本レーザを試料に照射すると熔融、蒸発現象などにより試料表面の構成原子が真空中に放出される。また、あらかじめレーザビーム照射痕をFIB1で走査して、試料から放出される二次電子を二次粒子検出器36で検出して、レーザビーム照射痕を観察することで、レーザビーム照射領域とイオンビーム照射領域の位置関係を明らかにしておく、例えば、シリコンウェーハに製造している微細半導体デバイスに対し、加工位置情報を元に、加工領域42にレーザ光57を自動照射することができる。本実施例では、レーザパルスを10回照射して加工領域を含む一辺が数十マイクロメートル領域を深さ数マイクロメートル除去することができた。これらの制御は計算処理装置74によって統一して行われる。次に試料基板38は、次のプロセスに投入されるが、レーザ照射処理によりガリウムやデポジションガス成分は除去でき、以降のプロセスで不良原因となることはない。

【0043】本実施の形態によると、基板を評価のために無駄に消費せず、かつ検査のための試料を切り出したウェーハをプロセスに戻しても新たな不良を発生させない電子部品製造方法を実現できる試料作製装置が提供される。

【0044】図4に本実施例に類する別の実施形態である試料作製装置を示す。この試料作製装置でもマイクロサンプル作製後にレーザビーム照射する。ここではレーザ発生装置56が上記実施の形態とは異なり真空容器に固定されていない。この装置ではレーザとして比較的大型のエキシマレーザを用いることができる。この装置でも同様に、レーザ発生装置56から放出されたレーザ光57は、大気中に置かれたレーザ反射鏡53によってその方向を変えられさらに大気中に置かれたレーザ用光学レンズ54を通して加工領域にむけて、真空容器内に導かれる。レーザを試料に照射すると熔融、蒸発現象などにより加工領域を含む試料上部層を除去することができる。この制御は、同様に計算処理装置74によって統一して行われる。本実施例でも、レーザ照射処理によりガリウムやデポジションガス成分は除去でき、以降のプロセスで不良原因となることはない。

【0045】<実施形態例3>本願による一実施例である第2のイオンビーム照射装置を備えた試料作製装置の概略構成図を図5に示す。

【0046】本試料作製装置17は、真空容器41を有しており、真空容器内には、FIB照射光学系35、二次粒子検出器36、デポガス源37、プローブ3、試料ステージ39等の構成は、実施形態例2の試料作製装置と同様である。本装置では、アルゴン、酸素、窒素等のガスイオンを放出するデュオプラズマトロン81、イオンビームレンズ82、アビーム制限アパチャ83、イオンビーム走査電極84などから構成される第二のイオンビーム照射系を設置している。また本装置を制御する装置として、ステージ制御装置61、マニピレータ制御装置62、二次電子検出器の増幅器63、デポガス源制御装置64、FIB制御装置65の他にデュオプラズマトロン制御装置91、光学系制御装置92、イオン走査制御装置93、および計算処理装置74、などが配置される。

【0047】FIB照射光学系35の動作は実施の形態2と同様で、ガリウムFIB1を用いたマイクロサンプル作製のための加工動作についても従来の方と同じである。そして、本装置から摘出したマイクロサンプル6は検査装置によって解析される。

【0048】マイクロサンプル作製後の第二イオンビーム照射動作を次に説明する。第二のイオンビーム照射装置のイオン源はデュオプラズマトロン81で、ここではアルゴンイオンを照射する。イオンビーム85の加速電圧は5kVで、イオン電流は2マイクロアンペア、ビーム径は約10マイクロメートルに調整した。またビーム走査電極84によって基板試料38の任意の場所を狙うことが可能で、ガリウムが照射された加工領域42を走査して照射することも可能となる。このためには、あらかじめ次の準備しておく、まずアルゴンイオンビーム85をスポット状に集束して試料に照射する。次にそのスポット状の照射痕をFIB1で走査して、二次電子を検出して、スポット状の照射痕を観察することで、アルゴンイオンビーム照射位置とFIB1照射位置関係を明らかにしておく。そして、この装置のイオンビーム走査制御装置93にはマイクロサンプル6の加工位置とガリウムFIB照射条件情報を記憶しており、この記憶情報から加工位置を呼び出し、アルゴンイオンビーム照射系を制御し、加工位置にアルゴンイオンビーム85を自動照射する。さらにガリウムFIB照射条件からガリウム照射量を計算し、ガリウムをほとんど全て取り除く条件を設定しアルゴンイオンビーム85を自動照射することができる。これらの制御は、計算処理装置74によって統一して行われる。

【0049】なお、イオンビームは前記実施形態例2で述べたレーザ装置に比べて、目標位置に精度よく照射することができ、さらに集束性もイオンビームはレーザ光

に比べ優れるため、微細な汚染を狙って除去するのに適している。一方、レーザ光は短時間に試料を蒸発させることができるため、スループットを上げたり、広領域を一度に処理するのに適している。

【0050】本実施例では、アルゴンイオンビーム85を1分間照射し、加工領域を含む一辺が十数マイクロメートル領域を深さ2マイクロメートル除去することができた。次に試料基板38は、次のプロセスに投入されるが、アルゴンイオン照射処理によりガリウムやデポジョンガス成分は除去でき、以降のプロセスで不良原因となることはない。

【0051】本実施の形態によると、基板を評価のために無駄に消費せず、かつ検査のための試料を切り出したウェーハをプロセスに戻しても新たな不良を発生させない電子部品製造方法を実現できる試料作製装置が提供される。

【0052】なお、本装置では、第二のイオンビーム装置をFIBイオンビーム装置に組み込んでいるが上記の第二のイオンビーム照射装置と同等の性能を持つ第二のイオンビーム照射装置で除去作業を行ってもよい。この場合には、加工位置情報を、FIBイオンビーム装置からアルゴンイオンビーム照射装置に転送し、加工位置を自動的にレーザ照射できるようにする。ただしこの場合には2台の装置のコストが必要であり、作業時間も長くなり、結果的にはデバイス製造にかかる経済的なコストが高くなる。

【0053】<実施形態例4>次に、基板の少なくとも一部を薄膜で被い手法を用いて、イオンビーム元素種すなわちガリウムによる汚染を低減する例について説明する。

【0054】本手法では、マイクロサンプルの加工前にまず、加工領域を覆うように薄膜をウェーハ上に形成する。薄膜を形成する方法としては、(1)あらかじめ用意しておいた金、白金、等の金属薄膜またはエポキシ系樹脂薄膜、ポリイミド薄膜等の有機系薄膜をウェーハ上に置く。(2)液体材料をウェーハ上に塗布し、ウェーハを加熱することにより薄膜を形成する。(3)真空装置中で金属や炭素の蒸着、スパッタ法による各種薄膜形成、あるいは化学ガスの合成を利用する化学蒸着などにより薄膜を形成する。

【0055】なお上記(2)に用いる液体材料は、各種錯体溶液(例えば、スピノングラス(略してSOG)と称される酸化ケイ素系被膜形成用塗布液(例えば、東京応化工業(株)製の酸化ケイ素系被膜形成用塗布液、あるいはCrやTi等の金属錯体溶液)、エポキシ系樹脂溶液、ポリイミド前駆体溶液である。塗布は、スピナや各種ピペットを用いて行うことができる。次に塗布した液体材料からの保護膜形成は、各種雰囲気炉、ホットプレート、レーザ、等の加熱手段を用いた焼成、紫外線ランプや紫外線レーザを照射する紫外線照射手段を用



いた光硬化などで行う。

【0056】次に図6を用いて本手法による試料作製工程について述べる。図6(a)はシリコンウェーハ201に薄膜202を形成後、試料作製装置でFIB1によりマイクロサンプルの作製を開始した図である。この工程前に、ウェーハ201上に液体材料であるスピノングラス(略してSOG)と称される酸化ケイ素系被膜形成用塗布液薄膜を少なくとも加工予定領域を覆うように塗布した。次にウェーハをホットプレートの上でスピノングラスを加熱し焼成した。その後、試料作製装置に導入した。そして、すでに述べたようにウェーハからマイクロサンプルを、FIB1とマニピュレータ先端に取り付けたプローブ、およびイオンビームガスアシストデポジション等を駆使して摘出する。図6(b)は試料断面を示している。この試料は、半導体デバイスの配線プロセス開発用に準備されたもので、シリコンウェーハ201上にシリコン酸化膜203を形成しその内にCuの配線204をチェーン上に設けたものである。ただし、チェーンが円205内で切れている。この試料の解析目的は、この断線の原因を解明することである。シリコン酸化膜203上は、スピノングラスを焼成して作製した薄膜である。試料作製開始時、FIB1は薄膜の上から照射されるが、スパッタリングによって、薄膜に穴があき、試料にイオンビームが到達することになる。図6(c)は、目的の断線部を残し両側からFIB1により穴加工する様子を示す。この図のように加工領域周辺の試料上面にはガリウムと試料の一部を含む堆積物206が存在する。また、ガリウムや試料の一部の破片以外にも、デポジションガスから生まれた物質の一部あるいは、試料装置の構成部品から発生する微小粒子が薄膜上に落ちる場合もある。これらはいずれも、半導体製造プロセスにとって不良原因となる可能性がある汚染物質である。しかし、これらは基板に到達することなく、薄膜上にとどまることになる。以降のマイクロサンプル作製手順については従来方法と同じである。次の工程では、マイクロサンプルを摘出後に、基板を取り出し、薄膜を除去する。薄膜を除去する方法としてはプラズマを使ったエッチング装置を使った。これにより、少なくとも、イオンビーム加工によって、イオンビーム加工領域以外に飛散した、ガリウムやデポジションガスから生まれた物質、試料装置の構成部品から発生する微小粒子を一挙に除去することができる。なお、加工領域に残されたイオンビームすなわちガリウムについては、発明の実施形態1または発明の実施形態2で述べた方法、すなわち、第二のイオンビーム照射またはレーザービームで除去することができる。

【0057】なお、ウェーハに形成した薄膜の種類によって、薄膜除去方法は異なる。例えば、(1)膜膜を基板上に置いた場合には、薄膜を取り去ればよい。また(2)(3)のように、基板上に薄膜を形成した場合には、アッシング装置により除去したり、プラズマなどを

利用したドライエッチングにより除去したり、有機溶剤で溶かして除去する。

【0058】本実施の形態の電子部品製造方法によると、基板を評価のために無駄に廃棄しなくて済む。かつ検査のための試料を切り出した基板をプロセスに戻しても新たな不良を発生させない。ひいては、電子部品の製造歩留りが向上する。なお、以上に述べた実施の形態の例では、試料作製装置でマイクロサンプルを取り出す方法を採用した例を述べたが、試料作製装置で、マイクロサンプルの形状を加工し、試料作製装置から基板を取り出して、別の機構でマイクロサンプルを取り出してもよい。例えば、図7(a)に示すように、ウェーハ上に薄膜208を形成し目標位置の両側を階段状にFIB1で加工して断面試料薄膜207を作製し、図7(b)に示すようにFIB1で試料薄膜周辺を切り取り、試料薄膜207をウェーハから切断する。そして、試料作製装置からウェーハを取りだし、大気中でガラス棒の静電気を利用して、試料薄膜207をウェーハからTEM試料ホルダ209に移動させる。このように、マイクロサンプルを装置内で取り出さなくとも、マイクロサンプルの外形のほとんどをイオンビームによって加工する装置も、本願に示す試料作製装置に含む。また、以上のようにウェーハから解析用のマイクロサンプルを取り出す試料作製装置ばかりでなく、ウェーハにFIB1により穴加工して、FIBもしくは同装置に取りつられた電子ビーム照射装置から放出された電子ビームにより断面部などデバイス内部を観察して、デバイス解析をする試料作製装置も、本願に示す試料作製装置に含む。

#### 【0059】

【発明の効果】本願による検査・解析方法を用いることで材料を評価のために無駄に消費せず、かつ検査のための試料を切り出したウェーハをプロセスに戻しても新たな不良を発生させない。また本願による電子部品製造方法を用いることで、ウェーハを判断することなく評価でき、新たな不良を発生させず、高価なウェーハを無駄にすることはない。ひいては、電子部品の製造歩留りが向上する。さらに、これらの検査・解析方法や電子部品製造方法を実現できる試料作製装置が提供される。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本願による電子部品製造方法にかかわるプロセスにおけるウェーハの流れを説明するための図。

【図2】従来の試料から微小試料を分離するフローを説明するための図。

【図3】本願による試料作製装置の一実施形態例を示す図。

【図4】本願による試料作製装置の一実施形態例を示す図。

【図5】本願による試料作製装置の一実施形態例を示す図。

【図6】本願による電子部品製造方法にかかわる試料作

15

製手順について説明するための図。

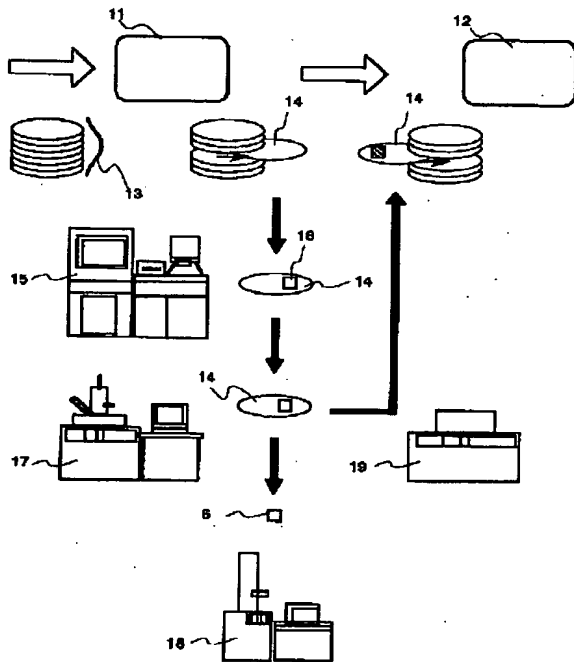
【図7】本願による電子部品製造方法にかかわる試料作製方法について説明するための図。

【符号の説明】

1…FIB、2…試料、3…プローブ、4…デポ源、5…マデポガス、6…マイクロサンプル、11…N番目のプロセス、12…N+1番目のプロセス、13…ロット、14…検査用ウェーハ、15…検査電子顕微鏡、17…試料作製装置、18…解析装置、31…イオンビームレンズ、32…液体金属イオン源、33…ビーム制限アパーチャ、34…イオンビーム走査電極、35…FIB照射光学系、38…二次粒子検出器、37…デポ源、38…試料基板、39…試料ステージ、41…真空容器、42…マニピレータ、40…試料ホルダ、51…レーザ発生オシレータ、52…レーザアンプ、54…レーザ反射\*

【図1】

図1

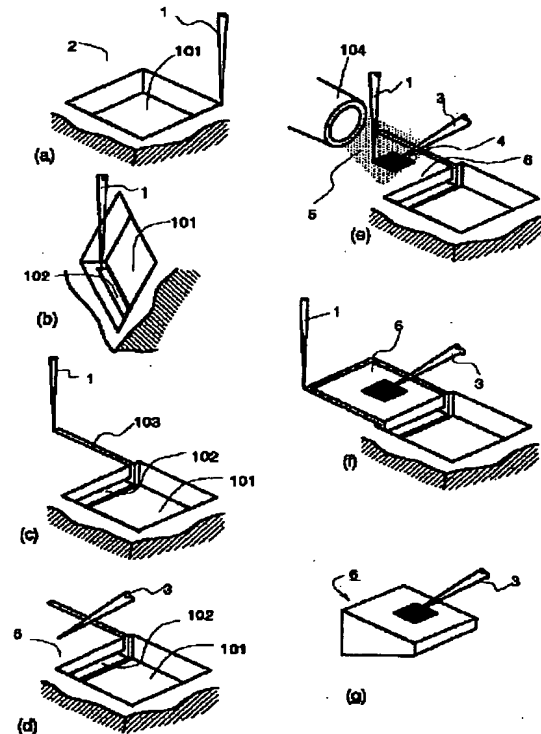


16

\*鏡、55…レーザ光学レンズ、56…レーザ発生装置、61…ステージ制御装置、62…マニピレータ制御装置、63…増幅器、64…デポガス源制御装置、65…FIB制御装置、71…レーザ反射鏡制御装置、72…レーザ光学源制御装置、73…レーザ装置制御装置、74…計算処理装置、81…デュオプラズマトロン、82…イオンビームレンズ、83…ビーム制限アパーチャ、84…イオンビーム走査電極、91…デュオプラズマトロン制御装置、92…イオンビームレンズ制御装置、93…イオンビーム走査制御装置、201…シリコンウェーハ、202…薄膜、76…試料ホルダ、77…ホルダカセット、78…移送手段、80…ステージ制御装置、203…シリコン酸化膜、204…Cuの配線、205…円、206…堆積物、207…試料薄膜、208…薄膜、209…TEM試料ホルダ。

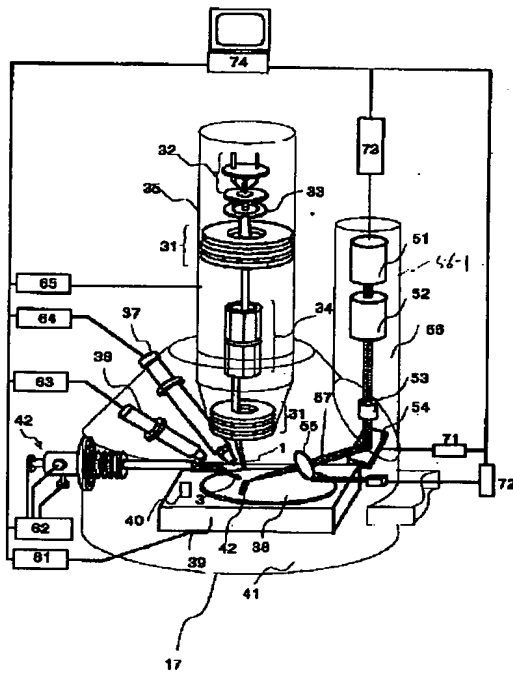
【図2】

図2



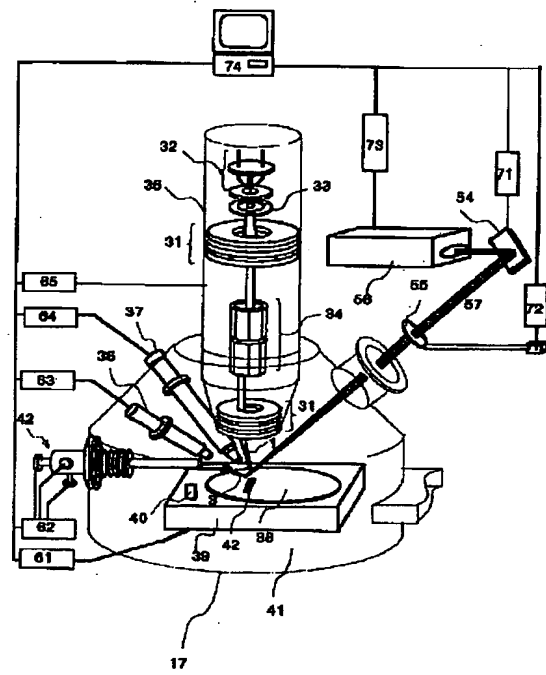
【図3】

図3



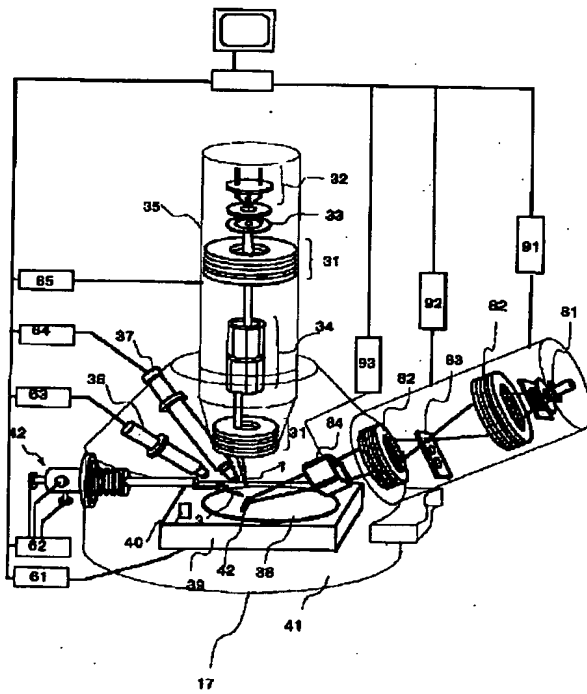
【図4】

図4



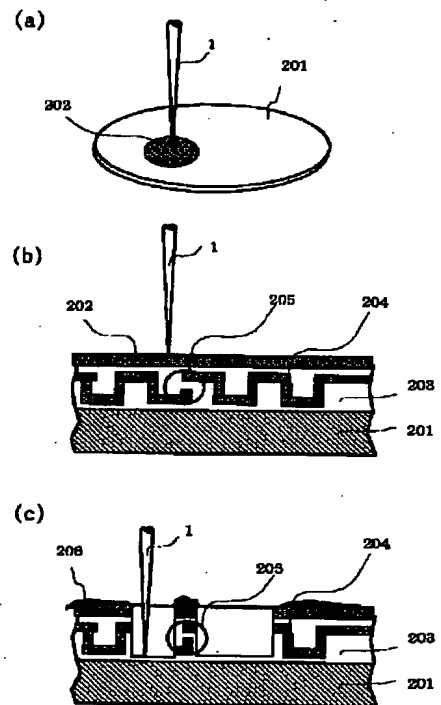
【図5】

図5



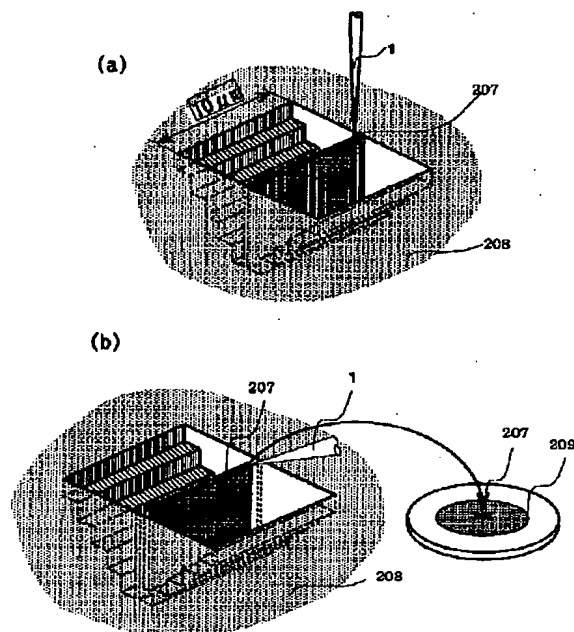
【図6】

図6



## 【図7】

図7



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

H 0 1 J 37/20  
37/30

// B 2 3 K 101:40

識別記号

F I

H 0 1 J 37/30

B 2 3 K 101:40

G 0 1 N 1/28

ターマコード (参考)

Z

G

F

(72) 発明者 福田 宗行

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

F ターム (参考) 4E066 BA13 BE01 CA15

4M106 AA01 BA03 BA05 CA51 CA70

DH24 DH32 DH33 DH57 DH60

DJ38

5C001 AA01 CC01 CC07

5C034 AA01 AA02